
DISEÑO DE GABINETE DE SEÑALIZACIÓN Y MANIOBRAS PARA INTERRUPTORES CON
MECANISMO DE OPERACIÓN DE TIPO HIDRÁULICO Y NEUMÁTICO CON TENSIONES
NOMINALES DE 500KV Y 230KV PARA EL TALLER DE MANTENIMIENTO DE INTERRUPTORES
DE ISA INTERCOLOMBIA S.A.S.

AUTOR: JOSE LUIS ECHAVARRÍA RAMIREZ

DIRECTOR DEL PROYECTO: ALEJANDRO GARCÉS RUIZ

CODIRECTOR DEL PROYECTO: CARLOS ARTURO SALDARRIAGA CORTÉS

JEFE INMEDIATO: DAVID NEREO BALLESTEROS LÓPEZ

U.T.P

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA ELÉCTRICA

PEREIRA/RISARALDA

17/07/2019

CONTENIDO

1. Introducción.....	3
2. Metodología.....	5
3. Desarrollo.....	6
4. Análisis de resultados.....	22
5. Conclusiones y recomendaciones.....	25
6. Trabajo a futuro.....	25
7. Anexos.....	26
8. Referencias.....	26

1. INTRODUCCIÓN

Los interruptores son dispositivos eléctricos cuya función principal es conectar y desconectar circuitos eléctricos tanto para condiciones normales de operación como de falla [1]. Estos equipos, pueden realizar maniobras de interrupción con carga ya que tienen la capacidad de detectar el paso por cero de la corriente, lo cual, junto con la acción de gas SF₆ permite la extinción completa del arco.

En los interruptores de potencia existen dos aspectos relevantes, estos son, los medios de extinción del arco y los mecanismos de operación para la interrupción de corriente. Este trabajo se concentra en los aspectos relacionados con el mecanismo de operación, los cuales tienen que ver con el dispositivo que acciona el interruptor, bien sea para cierre o apertura, utilizando energía almacenada de tipo mecánica, neumática o hidráulica. Estos mecanismos de operación se dividen en tres tipos principales, y se fundamentan en el almacenamiento de energía potencial mediante el uso de: sistemas de resortes, sistemas hidráulicos y sistemas neumáticos. Los interruptores basados en sistemas neumáticos pueden usar aire u otro tipo de fluido de compresión, como por ejemplo el gas SF₆, el cual no solo se usa para interrumpir el arco sino también como fluido almacenado a alta presión para realizar maniobras de apertura y cierre.

Después de identificar las labores que se desempeñan en la sede Sur-Occidente de la empresa ISA-intercolombia, se determinó la necesidad de diseñar e implementar de un banco de pruebas para interruptores de alta tensión con mecanismo de operación de tipo hidráulico y neumático. Esto con la finalidad de poder realizar pruebas de inspección y verificación a los interruptores de alta tensión al finalizar el correspondiente mantenimiento correctivo, logrando así garantizar la correcta operación de dichos equipos antes de su puesta en servicio.

El desarrollo de este banco de pruebas permitirá prestar tres tipos de servicios esenciales para el taller de mantenimiento de la sede Sur-Occidente de la empresa ISA-intercolombia. El primero, consiste en garantizar la correcta operación de los interruptores de alta tensión, posterior a las actividades asociadas a su mantenimiento correctivo. El segundo servicio, está asociado a características de simulación, pues dicho equipo permite entregar las señales que definen la correcta operación y funcionamiento de los interruptores. Y por último, servirá como un equipo de aprendizaje, el cual permita capacitar el personal de la compañía en temas de mantenimiento.

Con este diseño se verificaron los aspectos principales asociadas al correcto funcionamiento del equipo reparado, como por ejemplo, la prueba de tiempos para apertura y cierre de contactos, y las

respectivas señalizaciones que conlleva la operación correcta de los interruptores enfocado en interruptores de tipo hidráulico y neumático.

2. METODOLOGÍA

Las actividades que se realizaron fueron:

- I. Clarificar los dispositivos para obtener y generar las señalizaciones necesarias para el diseño e implementación del banco de pruebas para los interruptores.
- II. Diseño del tablero de control, incluyendo el diseño esquemático, como también su diseño eléctrico, teniendo en cuentas normas específicas para su realización.
- III. Diseño del sistema lógico de operación y cableado para los dos tipos de interruptores, tanto hidráulico como neumático, utilizando documentación específica para su diseño.
- IV. Se definió el esquema de conexiones para cada tipo de interruptor, mediante la utilización de los conectores rápidos como de los puntos en borneras específicos en los gabinetes propios del interruptor a intervenir.
- V. Diseño del equipo rectificador A.C a D.C y el esquema de la estación de pruebas para manómetros.
- VI. Se realizó un instructivo de funcionamiento en el cual se describan los conexiones y tipos de señales entre otras características del banco de operación y señalización.

3. DESARROLLO

3.1. Dispositivos para obtener y generar las señalizaciones.

Se realizó una investigación a fondo de los medios necesarios para ejecutar el diseño del banco de pruebas, con el fin de cumplir con todos los requisitos para las pruebas específicas realizadas en las instalaciones del taller de mantenimiento de interruptores.

Como primera etapa se realizó el análisis a profundidad sobre las señales que debería tener el gabinete de pruebas para que cumpliera con las normas estandarizadas por la empresa.

De acuerdo a las normas para diseño e ingeniería de ISA Intercolombia, los gabinetes de control deben cumplir con lo indicado en la ET “GE-ESPE-IN.SE-S-01-D0100” y las CTG “GEESPE-IN.SE-S-02-D0100” [4] como se menciona a continuación:

Para el mando eléctrico del interruptor de potencia se debe incluir:

- Dos circuitos para apertura (dos bobinas por polo si el mando es monopolar).
- Un circuito para cierre (una bobina por polo si el mando es monopolar).
- Opción de supervisión del circuito de disparo para la posición abierta y cerrada del interruptor de potencia.
- Indicación de resorte cargado/resorte descargado (Para el caso de interruptores con mecanismo de operación de tipo mecánico).
- Alimentación independiente para el motor eléctrico protegido con guardamotor y con supervisión de tensión.
- Temporizador para bloquear por exceso de tiempo de carga de los motores.
- Si el interruptor tiene un motor por polo, debe tener un circuito que impida el arranque simultáneo de los motores y realice el arranque secuencial de los motores de carga.

- Bloqueo del mando de cierre por resorte descargado, si alguna de las tres fases esta descargada debe bloquear todo el interruptor (Para el caso de interruptores con mecanismo de operación de tipo mecánico).
- Segunda etapa SF6, permite seleccionar, a discreción del instalador, la operación entre "solo bloqueo" y "disparo y bloqueo" de todo el interruptor, si alguna de las tres fases tiene baja presión SF6.
- Señalización de alarma de baja presión SF6 primera etapa.
- Señalización de disparo de baja presión SF6 segunda etapa.
- Pulsador de cierre local.
- Pulsador de apertura local.
- Circuito de antibombeo, debe ser por fase, cuando se tenga mando monopolar.
- Los cubículos del interruptor deben tener una platina de tierra para hacer conexiones con mordaza de las pantallas de todos los multiconductores, debe cumplir con RETIE para Colombia.
- Las puertas de las cajas o gabinetes de los mecanismos o mandos de operación y control, deben ser suministrados con bisagras y provistas de manija y cerradura con llave, la cual debe ser removible en posición de bloqueo o desbloqueo, que permitan un fácil acceso para inspección y manipulación de las partes internas.
- Las bisagras deben permitir que la puerta rote como mínimo 120° a partir de la posición cerrada.
- También deben contar con mecanismos para bloquear las puertas cuando se requieran dejar abiertas.
- Sistema de condena para evitar operación eléctrica y manual.
- Caja de operación tripolar adicional en caso de que el interruptor sea monopolar.

- Identificación mecánica de posición claras por polo cerrado (I) y abierto (0), si el mecanismo es monopolar.
- Manodensóstato. Conexión a una válvula manual para propósitos de mantenimiento. [5]

3.2. Diseño del tablero de control.

Esta actividad se inició realizando los cálculos de carga del gabinete, para lo cual se tiene en cuenta:

- 1) Las corrientes de los motores que presurizan a los interruptores.
- 2) Los circuitos de iluminación, tomas y calefacción (como lo menciona la RETIE).
- 3) La carga que manejaría el rectificador de tensión.
- 4) Las corrientes que debe soportar el equipo ante los comandos de cierre y apertura del interruptor en prueba.
- 5) Corriente de operación de los contactores eléctricos que se utilizaron para el diseño del sistema lógico del gabinete.
- 6) La corriente asociada a los circuitos de control, que según (IEC 61810) se establecen 6 amperios para control.

Las actividades mencionadas anteriormente se realizaron teniendo en cuenta que para seleccionar los mcb (Interruptores automáticos en miniatura) que irían en el gabinete se debe realizar un dimensionamiento según la corriente nominal que posea el circuito asociado a cada interruptor, esto se hizo utilizando la fórmula que se muestra a continuación:

$$\text{I}_{\text{breaker}} = 1,25 \cdot \text{I}_{\text{nominal}}$$

El Interruptor automático en miniatura a seleccionar debe estar más cercano al exceso de la corriente de protección, donde la capacidad de corriente nominal del Interruptor no debe ser superior a la capacidad de corriente del cable conductor.

La norma NTC2050 y NEC, recomiendan que las protecciones eléctricas, Interruptores automáticos en miniatura o disyuntores se dimensionen al 100% de la carga no continua más el 125% de la carga continua. Además de lo mencionado anteriormente se tuvo en cuenta un coeficiente de simultaneidad para los equipos interruptores de corriente, ya que no todo el tiempo se tendrá conectada toda la carga en el gabinete, para esto se tomó como referencia lo estipulado en la “figura 1” (Tabla 771.9.11 del RETIE [9]).

Tabla 771.9.II – Coeficientes de simultaneidad

Grado de electrificación	Coeficiente de simultaneidad
Mínimo	1
Medio	0,9
Elevado	0,8
Superior	0,7

Si una vez aplicado el coeficiente de simultaneidad ocurriera que la potencia máxima simultánea así calculada correspondiese a un grado de electrificación inferior, a todos los efectos se mantendrá el grado de electrificación anterior a la aplicación del coeficiente de simultaneidad.

FIG.1 Coeficientes de simultaneidad para equipos interruptores de corriente.

Adicionalmente según la NTC, el número de dispositivos de protección contra sobrecorriente en un panel de distribución, armario o caja de corte no deben ser más de 42 dispositivos de sobrecorriente (además de los del alimentador) para circuitos ramales de alumbrado y artefactos. Todos los paneles de distribución para circuitos ramales de alumbrado y artefactos deben estar dotados de medios físicos que eviten la instalación de más dispositivos de sobrecorriente que aquéllos para los que el panel de distribución está diseñado, dimensionado y aprobado. En esta sección, se considera que un interruptor automático de dos polos equivale a dos dispositivos de sobrecorriente y un interruptor automático de tres polos equivale a tres dispositivos de sobrecorriente.

Inicialmente se tuvo en cuenta que dado que en el gabinete se tienen señales de tensión alterna y continua, se debería realizar un diseño el cual aislara un tipo de tensión del otro, con fines de seguridad. Por este motivo se realizó el diseño iniciando desde la parte baja del gabinete con la acometida de la alimentación que tendrá el tablero a 208V con las respectivas fases R, S Y T, además del cable de neutro y la tierra, realizando la conexión a una bornera X0 de potencia. Esta acometida se diseñó en calibre 8AWG, valor que surgió de cálculos previos de carga, pero respetando el calibre mínimo para acometida según la NTC (230-23, Calibre y capacidad de corriente para acometidas) [10], de aquí se conecta con un totalizador Q01 de 64 A, diseñado con el fin de interrumpir todas las cargas ante una contingencia o sobre corriente existente, a

continuación se conecta a una bornera de distribución llamada X1, la cual alimenta el Interruptores automáticos en miniatura Q02, F1, F2 Y F3.

Q02 actúa como guarda-motor para los dispositivos de accionamiento en A.C de los interruptores según lo especificado en el manual de ingeniería de ISA [8], este a su vez va a una bornera X5 la cual tendrá ligada un selector para marcha o parada del motor, de donde saldrá por cable multiconductor al gabinete del interruptor que se quiera probar, en el caso de las borneas de tensión se busca que por norma tengan un color diferente para que el ejecutor de mantenimiento tenga una señal visual de la bornera que está interviniendo. Las borneras como la que se llamó X5 y las demás, se deben montar sobre riel DIN. Las borneras de corriente y tensión deben estar ubicadas en la parte intermedia del gabinete, no en la parte superior ni inferior de estos, de tal manera que se facilite su manipulación, estos bornes de baja tensión deben cumplir las estipulaciones de la Publicación IEC 60445: “Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification -Identification of equipment terminals, conductor terminations and conductors”, donde para esto se recomienda que las borneras deben ser marca Phoenix Contact ó Weidmüller y deben tener el sistema de sujeción con tornillo REAKDYN todo esto según el manual de ingeniería de ISA, F1 actúa como el interruptor automático encargado de los circuitos de calefacción, iluminación y tomas según lo establecido por la RETIE [9], asociadas a este interruptor se tendrán dos resistencias de calefacción con su higróstico, el cual controlará la temperatura a la que se quieran mantener las resistencias de calefacción. Además se tendrá la iluminación para el gabinete con su fin de carrera para cuando se abra o se cierre la puerta del gabinete y un toma monofásico de 16 A, con fase, neutro y tierra. El interruptor automático F2 será el responsable de supervisar sobre-corrientes que se presenten en el tomacorriente trifásico, y finalmente se encuentra una protección mono-polar para el rectificador F3, el cual tendrá la función de interrumpir el paso de corrientes ante fallas o sobre-corrientes en el dispositivo de rectificación diseñado previamente.

Después de pasar por el rectificador y tener una tensión en D.C, llegamos a la bornera de distribución en D.C llamada X2, esta se encarga de alimentar los interruptores en D.C los cuales serán: Q03 encargado de supervisar las sobre-corrientes causadas por el motor alimentado en D.C, este a su vez tendrá ligado un selector de marcha o parada del motor en D.C conectado a dos puntos en la bornera X4, para su posterior distribución hacia el gabinete del interruptor mediante el sistema de conectores rápidos. A continuación se tiene el interruptor F6 el cual está asociado a las acciones de apertura del interruptor de potencia mediante las dos bobinas que estos equipos poseen, el circuito asociado a este interruptor automático cuenta con dos pulsadores para dichas acciones como bien lo especifica el manual de ingeniería de ISA, el interruptor F5 tiene asociada la acción de cierre para el interruptor de potencia, este también tiene asociado a su circuito un pulsador S1 para realizar dicha maniobra.

Se tiene un interruptor asociado a las señales de control F4 el cual provisionara de polaridad a las señales que se requieren del interruptor el cual se conecta con la bornera de distribución X4, de aquí saldrá a las borneras específicas para las señales de cada interruptor y regresaran con el fin de dar la señalización que se requiere, a su vez estas señales que regresan alimentaran los pilotos asociados a cada una de las señales, esto con el fin de registrar lo que ocurra en el gabinete del interruptor asociado, además, las señales que provienen del gabinete del interruptor de prueba tendrán a su vez contactores asociados, con el fin de establecer ciertas condiciones operativas en el gabinete de prueba y señalización.

Se realizó el diseño de la barra de puesta a tierra según lo plasmado en el RETIE [9] y el manual de ingeniería de ISA así, los gabinetes de mando de los interruptores y seccionadores, así como los gabinetes para instalación exterior, deben tener borne de puesta a tierra tipo grapa para recibir conductores de cobre trenzado de hasta 120 mm² (f 14,6 mm).

La puesta a tierra de las pantallas de los cables podrá realizarse con estas mismas, en caso de que dicha pantalla utilice trenzas o hilos de cobre. En caso contrario deberán utilizarse prensaestopas apropiados para la puesta a tierra de la pantalla de los cables multiconductores, además los barrajes son construidos con platinas de cobre electrolítico o aluminio y calculados teniendo en cuenta la corriente nominal, la corriente de cortocircuito y la temperatura de operación. Todos los barrajes se fijarán a la estructura de la celda o del tablero mediante aisladores u otros medios aislantes. (Ver norma ANSI 55-5 y artículo 17.9 del RETIE). Los barrajes se instalan con las perforaciones necesarias para derivar los conductores, los cuales deben tener conector terminal apropiados y se fijan a los barrajes con tornillo, tuerca y arandela de presión de bronce.

Para el diseño esquemático se partió desde un activo que ya se poseía, el cual era el gabinete en sí, para esto se tomaron medidas del mismo y se procedió a aplicar todo lo previamente estudiado por normas, iniciando por la separación entre los aparatos en los gabinete, en la cual se establece que se debe permitir el acceso pleno y fácil a todos los bornes y a los aparatos. La disposición de los aparatos en los gabinetes debe ser sometida a aprobación de ISA, según lo establece el manual de ingeniería de ISA, Los gabinetes deben tener borneras puenteables para suministro de auxiliares de C.A e interruptor miniatura tripolar para alimentar los siguientes dispositivos:

- a) Calefacción controlada por termo higrostat o resistencias autorreguladas.

b) Lámpara de casquillo de rosca E27 compacta o LED sellada del tipo “tortuga o similar controlada por conmutador de puerta y con desconexión manual.

c) Tomacorriente doble según norma de cada país.

Para los tomacorrientes de corriente alterna según RETIE (20.10.2 Requisitos de instalación), debe ubicarse en la parte frontal del tablero para mejor acceso, pero no en la puerta, para que esté protegido de condiciones externas como polvo, deben suministrarse e instalarse con su respectiva placa, tapa o cubierta destinada a evitar el contacto directo con partes energizadas; estos materiales deben ser de alta resistencia al impacto. Cuando los tomacorrientes se instalen de forma horizontal, el contacto superior debe corresponder al neutro. Si existe un arreglo de varios tomacorrientes en un mismo producto, el contacto superior debe ser el neutro.

Según la (NTC2050) Los tomacorrientes de un máximo de 20 A nominales y conectados directamente a conductores de aluminio, deben llevar el rótulo CO/ALR.

Las resistencias que deban ser instaladas, sobre todo aquellas de potencia, deben ser montadas en accesorios o baquelitas con terminales adecuados para cableado a borneras y deben tener una cubierta de protección para evitar el contacto accidental de las personas.

Se debe cumplir con los requerimientos de borneras, bloques de prueba y demás elementos indicados en el documento GE-ESPE-GENER-S-00-D0002: “Requerimientos de Diseño” y las recomendaciones del documento: GE-ESPE-GENER-S-00-D0002: “Manual de Ingeniería Secundaria”. [6]

En términos de aislamiento los aparatos de baja tensión deben cumplir los requerimientos estipulados en la Publicación IEC 60947. Donde para dispositivos sin conexiones hacia el patio de conexiones será de 500 V.

Los cables deben ser dispuestos en forma tal que se prevengan cruces entre los haces. Los haces de cables deben ser dispuestos debidamente alineados dentro de canaletas, con ángulos de 90° cuando se requiera cambio de dirección. Todos los haces deben tener correas a intervalos iguales, en tal forma que el haz retenga su forma original en un conjunto compacto. (GE-ESPE-GABIN-S-01-D0212-V1), además se deberá de tener en cuenta la norma de colores para los cables como lo establece el RETIE [9] así:

Sistema c.a.	1Φ	1Φ	3ΦY	3ΦΔ	3ΦΔ-	3ΦY	3ΦY	3ΦΔ	3ΦΔ	3ΦY
Tensión nominal (voltios)	120	240/120	208/120	240	240/208/120	380/220	480/277	480 - 440	Más de 1000 V	Más de 1000 V
Conductor activo	1 fase 2 hilos	2 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases	3 fases
Fase	Color fase o negro	Color fases o 1 Negro	Amarillo Azul Rojo	Negro Azul Rojo	Negro Naranja Azul	Café Negro Amarillo	Café Naranja Amarillo	Café Naranja Amarillo	Violeta Café Rojo	Amarillo Violeta Rojo
Neutro	Blanco	Blanco	Blanco	No aplica	Blanco	Blanco	Blanco o Gris	No aplica	No aplica	No Aplica
Tierra de protección	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	No Aplica
Tierra aislada	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	No aplica	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	No aplica	No aplica	No aplica	No Aplica

Tabla 6.5 Código de colores para conductores c.a.

Sistema c.c.	TN-S	TN-S	TN-C	TN-C	T-T	T-T
Tensión nominal (voltios)	Hasta 125	Hasta 125	Hasta 125	Hasta 125	Hasta 125	Hasta 125
Conductor positivo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
Conductor negativo	Blanco	Azul	Blanco	Azul	Blanco	Azul
Conductor medio	No aplica	Blanco	No aplica	Blanco	No aplica	Blanco
Tierra de protección	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica

Tabla 6.6. Código de colores para conductores c.c.

FIG.2 Código de colores para cableado según RETIE.

Además por manual de ingeniería se deberá tener en cuenta que El cableado interno debe ser de tipo flexible (Clase 5 según la norma IEC 60228), aislado a 600 V y color gris o negro y debe contar con marcación de origen-destino en cada extremo. [6]

La identificación del cableado debe disponerse a manera de capas, de forma que, dentro del tablero, cada multiconductor pueda ser marquillado en su chaqueta, justo antes de exponer los hilos que deben disponerse en paquetes individuales, hasta las canaletas desde donde se lleva cada hilo a las borneras correspondientes. Para la entrada de multiconductores hacia los tableros de control no se usará prensaestopas, los multiconductores suben libres asegurados mecánicamente, el calibre de la lámina debe ser adecuado para evitar que se doble por la acción de los cables.

Finalmente para elementos de señalización y operación se debe tener en cuenta lo siguiente: Según RETIE [9], para pulsadores de baja tensión, se deben cumplir los requisitos de normas internacionales o de reconocimiento internacional, tales como IEC 60947-1, IEC 60947-5-1, IEC60947-5-4 o UL 508.

Para diferenciar los botones, se debe emplear el verde esmeralda para el botón de arranque y el rojo para todos los dispositivos de parada.

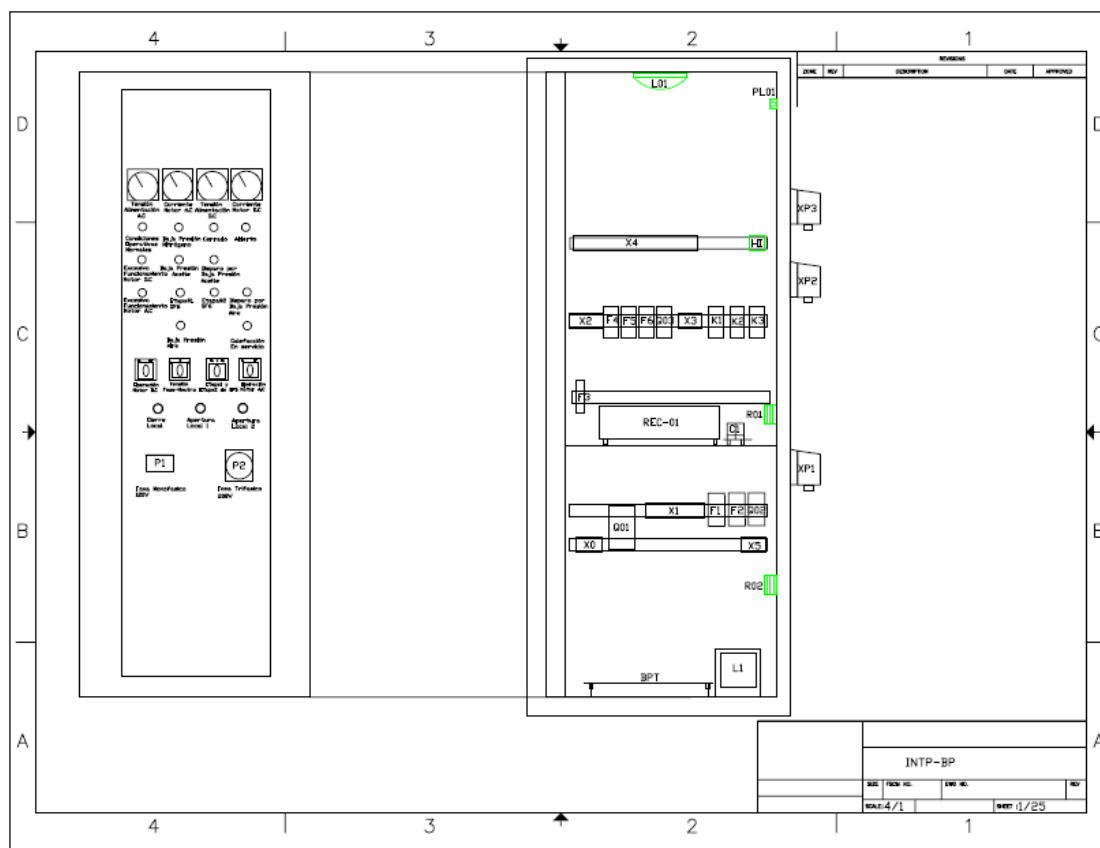


FIG.3 Tablero de control y diseño esquemático para el gabinete de pruebas.

3.3. Diseño del sistema lógico de operación y cableado.

El diseño del sistema de cableado para ambos interruptores se realizó partiendo del concepto de los relés de anti-bombeo que se emplean en los interruptores de potencia, donde la finalidad de estos se basa en que a la bobina asociada al cierre del interruptor se le interrumpa la polaridad positiva con el fin de que la bobina no sufra desgaste y se queme, además se utilizó la idea del enclave eléctrico que hacen los presostatos asociados al gas SF6 el cual al percibir una disminución en la presión de este gas que interrumpe el arco eléctrico genera un disparo al interruptor y un bloqueo eléctrico, con el propósito de que no se generen maniobras peligrosas con el equipo ante la no existencia del medio que interrumpe estos grandes arcos que se generan al realizar un comando de apertura con carga en los mismos.

Se partió desde el interruptor automático F4 y su conexión con la bornera de distribución X4 para las señales de control de ambos activos, en esta bornera se implementaron los pilotos encargados de dar la señalización para ambos tipos de funcionamiento, estableciendo así para los interruptores de tipo hidráulico las señales asociadas a las presiones de aceite y nitrógeno,

así como el disparo por aceite y el excesivo funcionamiento de motor tanto en A.C como en D.C según sea el caso. Para los de funcionamiento neumático se implementaron las señales de presión de aire y excesivo funcionamiento del motor en A.C, de aquí saldrán los puntos de conexión específicos para las señales de cada interruptor y regresaran con el fin de dar la señalización que se requiere.

Se debe tener en cuenta que en el retorno de señales a las borneras se especifica en planos (Ver “Figura 4” y “Figura 5”), en los cuales se encuentran los contactores asociados a la apertura y cierre de los interruptores de potencia, así como a las condiciones operativas normales del sistema.

Esto último se diseñó con la ayuda de una bornera que contiene diodos, con el fin de mantener una dirección de la corriente y que le proporcione la polaridad necesaria al contactor de condiciones operativas normales sin que se vean afectados los demás pilotos por la conexión en paralelo, este contactor se diseñó con las siguientes finalidades:

- Primero para que el piloto de condiciones operativas se apague como una advertencia para el usuario del gabinete de pruebas, dando la indicación de que algo anda mal en el sistema.
- Segundo como enclave para acciones de cierre y apertura del interruptor, ya que al energizarse el contactor K1 por no existir condiciones operativas correctas abrirá el contacto asociado impidiendo que las polaridades necesarias para el accionamiento del interruptor se encuentren disponibles.

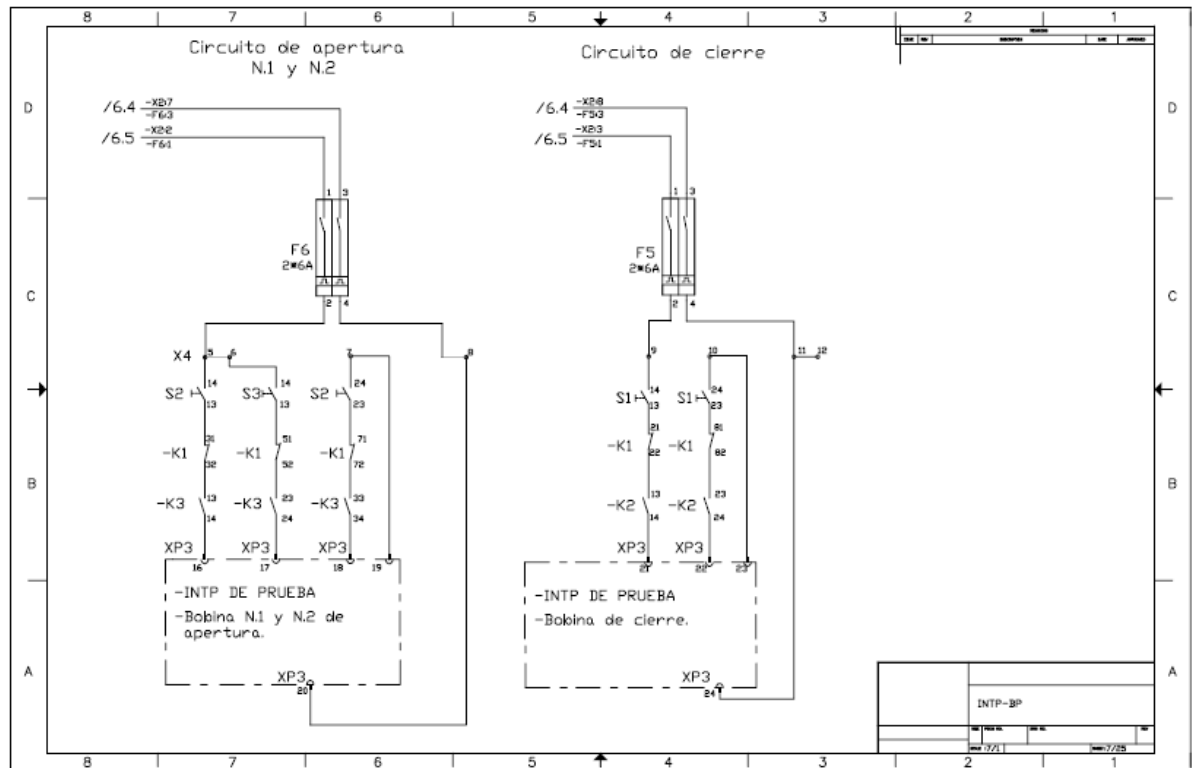


FIG.4 Sistema lógico y de cableado para la operación de ambos tipos de interruptores.

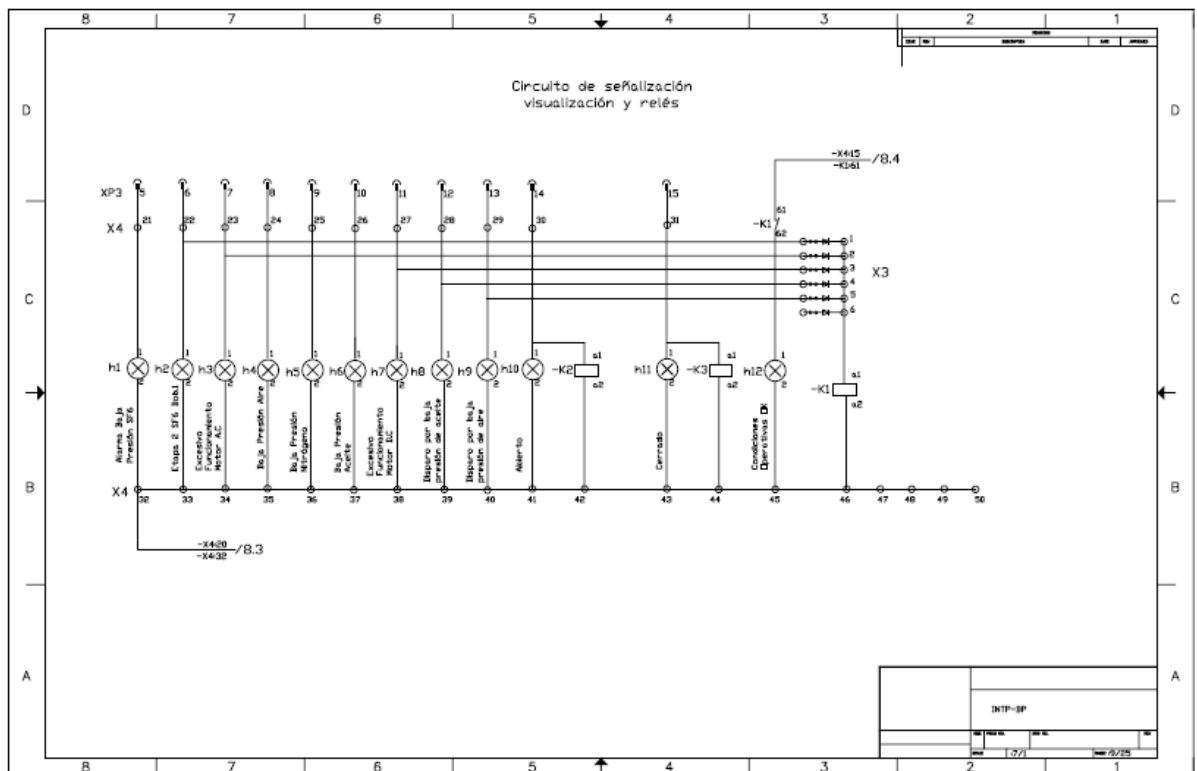


FIG.5 Sistema lógico y de cableado para la operación de ambos tipos de interruptores, bobinas asociadas.

3.4. Esquema de conexiones para cada tipo de interruptor.

El esquema de conexiones para los diferentes tipos de interruptores se realizó teniendo en cuenta el uso de los conectores rápidos que normalmente se emplean en los interruptores Siemens, estos conectores rápidos tendrán varias funciones y ventajas de uso, lo primero y más importante será generar conexiones precisas respetando tipos de tensión y polaridades según sea el caso, no generar tiempos muertos en el uso del activo al tener que realizar solamente las conexiones ya especificadas en sitio para cada tipo y serie de interruptor, siendo así amigable con el usuario.

Lo mencionado anteriormente será en la salida del banco de pruebas diseñado, al final de los conectores rápidos, saldrán varios cables los cuales en su extremo irán acoplados a conectores db25 (Conectores especiales de 25 pines en la entrada), los cuales generaran una estandarización para las conexiones a gabinetes que no sean de marca siemens.

La conexión desde los gabinetes de interruptores se hará realizando un seguimiento de los puntos en borneras específicos en los planos propios del interruptor a intervenir, finalizando con una conexión de este cableado a un conector db25 hembra el cual se unirá con los conectores tipo macho que provienen del banco de señalización y pruebas.

3.5. Diseño del equipo rectificador A.C a D.C y el esquema de la estación de pruebas para manómetros.

El sistema de corriente continua de 125 Vcc está conformado por las siguientes pautas:

Todos los equipos nuevos deberán ser a tensiones de operación 125 V D.C, con un margen de operación del (80-110) %.

El rectificador deberá ser instalado en un gabinete metálico completo, con todos sus accesorios.

El tablero deberá incluir indicación de tensión VA.C de entrada, tensión VD.C de salida y corriente de ID.C de salida a la carga y a las baterías si aplica, independiente del rectificador.

Esta indicación podrá ser mediante instrumentos análogos o un indicador digital multifuncional.

Los indicadores deben permitir visualizar las siguientes variables:

- Corriente de salida a la carga.
- Tensión de salida a la carga.
- Tensión de entrada (V F-F y V F-N).

El proceso de diseño para el rectificado fue iniciando con un estudio previo a las cargas que debería alimentar este sistema, continuando con el diseño teórico en papel y la simulación del sistema resultante utilizando el simulador electrónico PSIM, con el fin de verificar que el diseño correspondiera con las tensiones y corrientes esperadas para alimentar las cargas, así como el porcentaje de rizado del valor bajo esperado.

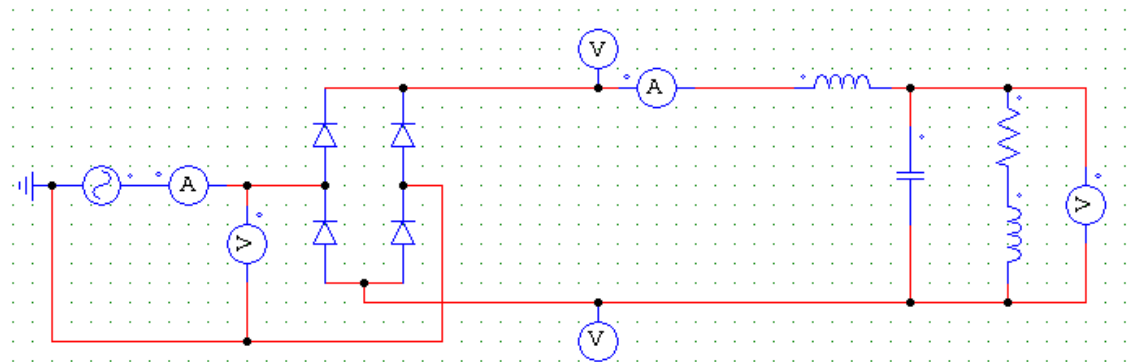


FIG.6 Circuito final rectificador.

El diseño teórico en papel se tomó como carga esperada un valor resistivo e inductivo de 7.488 ohms y 9.6mH respectivamente, con el fin de simular los motores de las bombas D.C que se espera alimentar en la mayor parte de los interruptores que se intervendrán, teniendo como carga total de 6 a 15 amperios, tomando como valor de referencia el valor de 10A. De aquí se buscó que alimentación sería la mejor, implementando tensiones monofásicas, bifásicas y trifásicas, llegando a la conclusión de que al implementar una tensión monofásica el impacto en cuanto a los picos de corriente en diodos y en el sistema en general sería menor. Además se verificó con ayuda del simulador que configuración de rectificación se acoplaría de la mejor forma y tendría menos impacto en lo que a consumo se refiere, así como el obtener una tensión

de 110V D.C, con una carga alta, y asegurando polaridades positivas y negativas de 64V RMS necesarios para alimentar nuestros circuitos a intervenir (Ver “Figura 10”). Finalmente se obtuvo que la configuración de puente completo con alimentación monofásica sería la más acertada, ya que los picos de corriente fueron los menores con valores de, corriente en la entrada de 16.2 A RMS y en la salida una corriente de 16.2 A, que con toda seguridad alimentará las cargas en D.C como lo son las corrientes del sistema de control, los sistemas de apertura y cierre, el motor de la bomba, los pilotos de señalización y los contactores asociados.

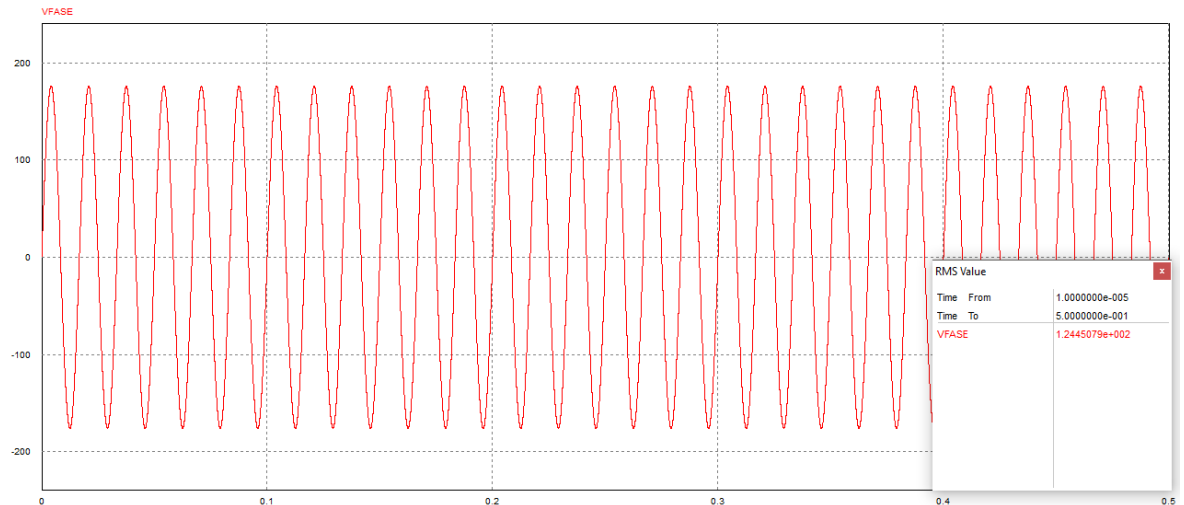


FIG.7 Tensión de fase en la entrada.

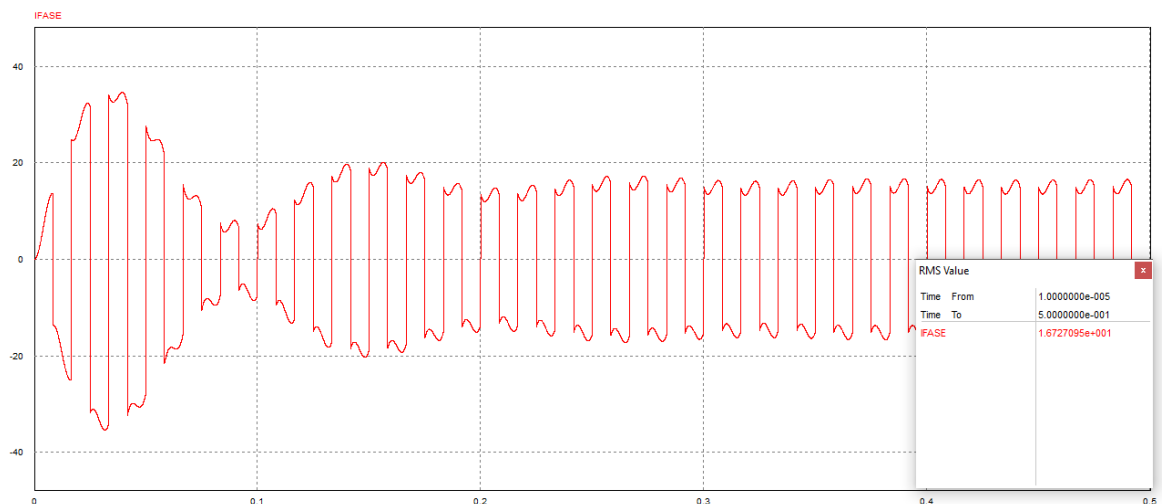


FIG.8 Picos de corriente presentes en los diodos.

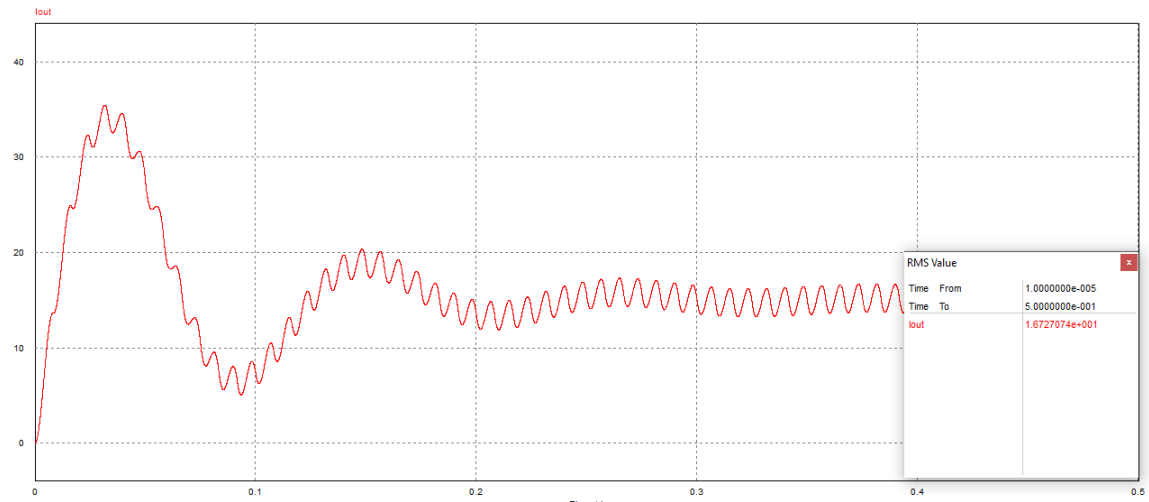


FIG.9 Corriente de salida (Carga).

Como última etapa en el diseño del rectificador se buscaba mitigar el rizado en la onda de tensión, para esto se implementó un filtro serie L-C pasa bajas, utilizando fórmulas de diseño plasmadas en [7] (Pag. 96), donde al realizar el debido calculo los valores resultantes fueron un filtro L con valor de 66.3mH agregando en serie el valor de resistencia que presentan estas bobinas por naturaleza, y un valor capacitivo de 2500uF obteniendo así un valor de rizado en la tensión de salida de 5.98%, completando así el diseño final del rectificador. (Ver “Figura 6”).

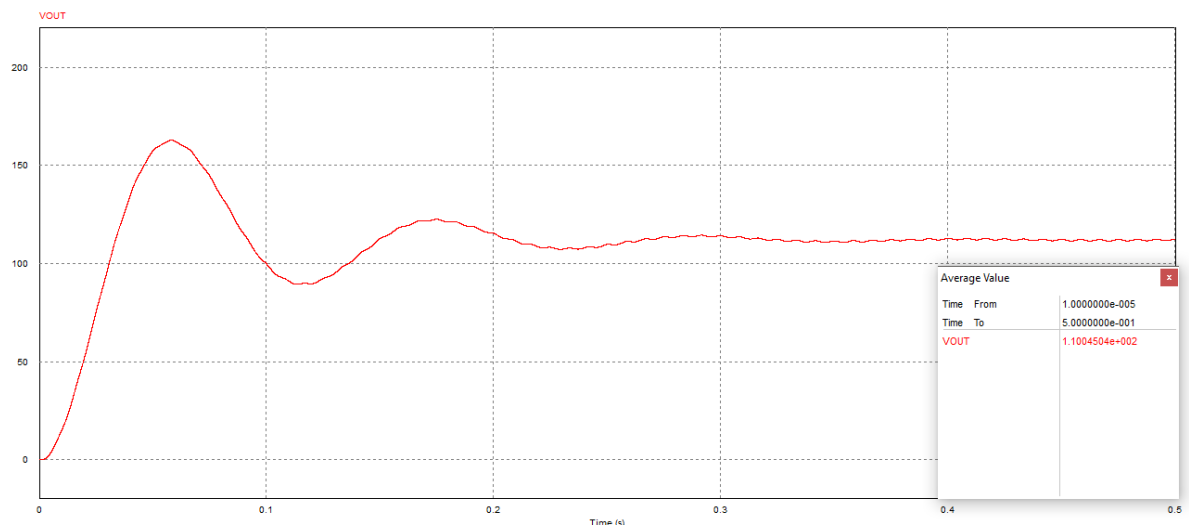


FIG.10 Tensión de salida del rectificador.

El diseño de la estación de pruebas de manómetros es un conjunto de tubería y manómetro de precisión, esto con el fin de generar una medida con exactitud de la presión de aire que tengan en cualquier momento el mecanismo de operación de tipo neumático asociado a estos interruptores, corroborando así el funcionamiento del manómetro que por norma tendrá cada gabinete de los interruptores que se probaran.

Para la tubería del manómetro de aire, en caso de que esta sea metálica, se establece que para las tuberías interiores metálicas que se puedan llegar a energizar se deben conectar equipotencialmente al encerramiento del equipo de acometida, al conductor puesto a tierra de acometida, al conductor del electrodo de puesta a tierra cuando tenga el calibre suficiente o a uno o más de los electrodos de puesta a tierra de la instalación.

3.6. Instructivo de funcionamiento.

El instructivo de funcionamiento se realizó partiendo de los planos previamente elaborados, donde cabe resaltar que para la realización de los mismos se tomó como referencia las convenciones que el fabricante Siemens utiliza para realizar planos por facilidad en la lectura y practicidad a la hora de implementar los conectores rápidos. En estos planos se describen las conexiones eléctricas internas del gabinete de pruebas y a partir de esto se procede a realizar una breve descripción del funcionamiento como del objetivo del proyecto, mencionando los componentes eléctricos que lo componen y su utilidad.

A continuación se efectúa un listado de pasos a seguir para intervenir el equipo de pruebas y señalización, mencionando los puntos clave acerca del funcionamiento y de cómo responder ante un posible error.

En las páginas siguientes se plasman las conexiones que se deben realizar en los gabinetes de mando propios de cada interruptor, para este punto se debe tener en cuenta que cada gabinete puede ser diferente y se debe tener especial cuidado en la referencia del mismo, así como a la hora de realizar las conexiones utilizando los conectores rápidos. Este listado de conexiones es una ayuda para realizar el seguimiento en caso de que el funcionamiento del banco de pruebas no sea el esperado, así como también poder realizar las respectivas conexiones en bruto si estas no se han preparado con anterioridad, como por ejemplo al intervenir un gabinete de mando que no se encuentre implementado en el taller de mantenimiento de interruptores.

El instructivo de funcionamiento continúa con el listado de la conexión eléctrica interna, con la finalidad de poder realizar un seguimiento al cableado dado el caso. A su vez el instructivo cuenta con el listado de materiales utilizados para el montaje del mismo, el fabricante, su referencia, el nombre asociado y aspectos relevantes que son de alta importancia como corriente máxima de interrupción para los interruptores automáticos, tensión de alimentación entre otros.

Finalmente este documento continúa con el esquemático del gabinete y los planos eléctricos realizados con anterioridad, esto con el fin de que el instructivo sea un documento en el que se tenga toda la información relevante del activo y tener las herramientas necesarias para la puesta en marcha y afrontar posibles inconvenientes a la hora de maniobrar un activo después de su mantenimiento.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Las señalizaciones necesarias para realizar este diseño por normas técnicas en el manual de diseño e ingeniería de ISA concuerdan acertadamente con las señalizaciones propuestas inicialmente para las labores necesarias en las pruebas que se realizarán a los interruptores de potencia. Ya que los activos en patio se conectan a la RTU (Unidad Terminal Remota) en sala de mando de la subestación con una gran cantidad de señales para poder ejecutar varias acciones tanto de seguimiento al equipo como de protección y control. Lo que se tuvo en cuenta fue que solo necesitaríamos las señales imprescindibles para el control y operación de los interruptores.
- El diseño del tablero de control como del esquemático del activo fueron las actividades que más análisis e investigación necesitaron, ya que para la realización de estas era necesario indagar en normas eléctricas tanto nacionales como internacionales, de las cuales se pueden mencionar el RETIE, la NTC2050 como normas nacionales, incluyendo el manual de ingeniería de ISA, así como normas internacionales como lo son la IEC y la DIN; Esto con el fin de que el diseño fuera aceptado en cualquier ámbito de trabajo, incluyendo las normas de la empresa, las cuales fueron predominantes en la realización de la actividad.

Esta actividad fue satisfactoria, ya que cumplió con cabalidad todos los objetivos propuestos para las pruebas y señalización de los interruptores a los que se les realiza el mantenimiento, así como al cumplir con las normas indagadas que se mencionaron anteriormente.

- El sistema lógico para la operación de ambos tipos de interruptores consistió en el cumplimiento de unas señales específicas que por teoría y propias especificaciones del fabricante deben estar presentes a la hora de realizar cualquier maniobra, bien sea de apertura o cierre, así como lo es la señal de SF6 por segunda etapa. Es importante mencionar que en el funcionamiento normal en patio esta señal genera una apertura al activo y un enlace al cierre, ya que el interruptor no tiene posibilidad de extinguir el arco ante una nueva maniobra al no tener la presión adecuada del gas que disipa el resultado de realizar una apertura bajo carga.

Así como se mencionó anteriormente, se tuvo en cuenta varias señales para cada tipo de interruptor, las cuales ante la presencia de una de ellas generaría que un piloto de alarma asociada a esta se encienda y a su vez de la polaridad de alimentación al contactor K1 el cual es uno de los encargados de dar continuidad a la polaridad para realizar una maniobra de cierre o apertura. Igualmente para que a la bobina del mecanismo de operación del interruptor a probar no le llegue una polaridad constantemente y cause una falla en esta, se precisó el uso de contactores que son la imagen del estado del interruptor, indicando si este está cerrado o abierto con el fin de realizar un anti bombeo.

El mecanismo que previamente se describió y se utilizó en el diseño fue en cierta medida eficaz y acertado, ya que además de las condiciones que de por sí posee el interruptor para tratar de evitar accidentes y operaciones erróneas se implementó un sistema de seguridad que fortalecía la operación de los mismos.

- El esquema de conexiones entre el gabinete de prueba y los gabinetes de mando de los interruptores fue la actividad que requirió de más ingenio, ya que para realizar estas conexiones se debía tener en cuenta que los gabinetes de mando de los interruptores a intervenir no tendrían ningún tipo de polaridad o tensión en sus bornes, y que para poder realizar cualquier tipo de operación u obtener alguna señalización el gabinete de prueba debería alimentar con las polaridades necesarias estos gabinetes de mando y retornar la señal a él.

El sistema implementado fue de cierta manera arcaica, ya que para realizar la conexión se debía tener previamente analizados y preparados los puntos de conexión en las borneras indicadas en el gabinete de mando, realizando un barrido a los planos de cada interruptor que se fuera a intervenir.

- El equipo rectificador A.C/D.C se implementó con el fin de que el gabinete fuera autosuficiente, y que con solo una acometida trifásica en A.C que se puede encontrar muy

fácilmente en las instalaciones de ISA y en cualquier subestación se pueda alimentar el equipo a intervenir con las polaridades necesarias para poder operar el activo a intervenir. Este diseño fue efectivo, ya que al utilizar una tensión A.C del tipo monofásico se pudo generar la alimentación suficiente de tensión sin necesidad de utilizar divisores de tensión o dobladores de tensión, además de esto el esquema de filtrado realizado en la salida D.C fue un éxito, ya que la tensión de rizado fue cercana al 1.26%, un valor que en la práctica es difícil de obtener a la salida de un rectificador que no utilice elementos electrónicos o que ayuden a la disminución del mismo.

El aspecto que se podría mejorar en este diseño es la implementación realizada en el filtrado de la señal de tensión D.C, ya que para mantener un valor de tensión de 130V RMS a la salida fue necesario acudir a una resistencia en serie con la bobina del filtro, con el fin de atenuar la tensión que de por si genera el equipo. Aunque esta se ve compensada en la realidad por la resistencia interna que posee el núcleo y bobina de la inductancia.

La estación de pruebas para manómetros es un elemento sencillo que no requirió de un análisis a fondo, ya que este activo solo se compone de un manómetro de precisión con tubería que se conectara a un dispositivo en T para realizarle el seguimiento a las presiones de aire en los interruptores de tipo neumático, y a su vez con el fin de identificar si el manómetro que posee el gabinete de mando del interruptor posee fallas o se debe calibrar.

- El instructivo de funcionamiento se realizó con el fin de ser un instrumento de acompañamiento a la hora de la puesta en marcha del activo y en la realización de las maniobras operativas de los interruptores a intervenir.

La realización de este documento fue satisfactoria, ya que se concatenaron la parte teórica y la práctica que son necesarias para utilizar el activo.

En este documento se menciona la finalidad del activo, una breve descripción del mismo y de los elementos eléctricos que lo componen. Así como las conexiones eléctricas y los planos eléctricos que lo constituyen. Además de plasmar una lista de acciones a realizar para las personas que desean maniobrar el activo teniendo en cuenta posibles errores en el funcionamiento.

Esta actividad fue de gran importancia y se finalizó como satisfactoria, ya que con la ayuda de este documento el usuario podrá maniobrar el activo de manera correcta y sin problema alguno.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El diseño del gabinete fue satisfactorio ya que recogió normas tanto nacionales como internacionales y a nivel de ingeniería de empresa, que culminó en el diseño de un equipo que servirá para realizar maniobras de apertura y cierre para los interruptores con mecanismo de operación hidráulico y neumático, además de obtener la señalización inherente a su funcionamiento, agregando la posibilidad de poderse expandir al mecanismo de operación mecánico.
- Cabe resaltar que el diseño del sistema lógico para las maniobras de los interruptores es un sistema que corrobora y le da un alto índice de seguridad al equipo que se está interviniendo, ya que se tienen en cuenta las señales necesarias para que este opere, así como la implementación de un anti-bombeo que va ligado a la posición en la que se encuentre el activo, bien sea abierto o cerrado, y qué posibles polaridades presentes sean dañinas en uno de los elementos más importantes y delicados en la operación de los interruptores como lo son las bobinas de apertura y cierre.
- La implementación del esquema de rectificación en el gabinete de prueba fue un activo importante para trabajos en campo, ya que al utilizar una alimentación A.C, asegura que cualquier equipo que se intervendrá tendrá la posibilidad de proporcionar las polaridades necesarias que se necesitan para realizar comando de maniobras y obtener las señalizaciones necesarias para el equipo.
- El diseño realizado cumple con las normas obligatorias y además es apropiado para el funcionamiento esperado para un banco de pruebas; de igual forma es funcional y necesario para realizar la tarea de verificación final a los activos que se intervienen en el taller de mantenimiento de interruptores de ISA intercolombia.

6. TRABAJO A FUTURO

Como aspectos para trabajos futuros se puede mencionar que este diseño esta de cierta manera receptivo a cambios y/o incorporar más señales que aporten a la labor de pruebas de los equipos o identificar a profundidad el funcionamiento del activo como lo es anexando señales de control y protección como se mencionaba anteriormente. Incluso este gabinete cuenta con bornes, pilotos y

demás elementos de reserva que cumplen dos funciones importantes: La primera es la de brindar un apoyo ante una señal o cableado que se encuentre averiado y se deba restablecer rápidamente, la segunda es la de implementar las señales y el mando para el mecanismo de operación restante en el diseño de este activo, como lo es el mecanismo de operación mecánico, que como bien se ha visto en la empresa es el activo que en un futuro será mayormente implementado en todas las subestaciones por su facilidad en la operación, por no tener fugas constantes en comparación con los interruptores con mecanismo de operación como los hidráulico y neumáticos, y por su durabilidad al mantenimiento, garantía de operación extendida y economía en comparación con los demás tipos de mecanismos mencionados, como se comenta en [1] (Pag.242).

Además se plantea el estudio de cómo realizar el enlace entre ambos gabinetes, ya que el esquema de conexión mediante el uso de conectores rápidos solo es de gran utilidad cuando se están interviniendo interruptores de la marca Siemens, ya que estos son los únicos que poseen este sistema de conexión rápida, además de tener en cuenta muchas más señalizaciones inherentes al estado del interruptor orientadas en obtener completamente el estado del interruptor.

7. ANEXOS

7.1 Anexo I: Simulación rectificador de tensión A.C/ D.C (PSIM).

7.2 Anexo II: Memoria de cálculos interruptores automáticos de corriente.

7.3 Anexo III: Planos del gabinete de prueba.

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] C. F. Ramírez, “Subestaciones de alta y extra alta tensión”, Segunda edición, 2003, ISBN 958-33-5295-0, Mejía Villegas S.A.

[2] INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P, “Manual Unificado Para Operación y Mantenimiento Seguro”, Versión número 7-1, MTN-M-S-02.00-P-1162, INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P.

[3] B. Gonzales, J.V. Galaviz, “Análisis de fiabilidad aplicado a interruptores de potencia en Subestaciones eléctricas”, Revista avances-13, Fecha de aceptación del artículo: 05/12/2016.

[4] INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P, “Gabinetes interiores, de agrupamiento, de cambio de unidad para equipos inductivos y empotrados”, Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. – ISA.

[5] INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P, “Rectificador/cargador de baterías modular de alta frecuencia GE-ESPE-AUXIL-S-01-D0208-V3”, INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P, Agosto de 2016.

[6] INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P, “Gabinetes interiores, de agrupamiento, de cambio de unidad para equipos inductivos y empotrados GE-ESPE-GABIN-S-01-D0212-V1, INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P, Noviembre de 2018.

[7] Pérez Vega Constantino, “Circuitos pasivos”, capítulo 13, Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones, Universidad de Cantabria.

[8] INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P, “Requerimientos de diseño GE-ESPE-GENER-S-00-D0002-V4, INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P, Octubre de 2018.

[9] Ministerio de Minas y Energía “Reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE”, resolución 9 0708, agosto 30 de 2013.

[10] Ministerio de desarrollo económico “Código eléctrico colombiano NTC 2050 (Primera actualización)”, 11-25-1998, ICONTEC.

